

分通道相位调制潜像法防伪效果的评价

王天马, 王琪, 刘洪豪

(南京林业大学, 南京 210037)

摘要: **目的** 以图像半色调加网原理为理论基础,运用相位调制潜像技术实现一种光栅防伪方法。**方法** 设计原图与潜像,对其设置加网参数进行数字加网,在C,M,Y,K通道分别嵌入潜像作为防伪母版,根据加网线数的不同,设计具有对应周期的数字光栅,而后与防伪母版进行适当角度覆合完成防伪信息的提取。用加权信噪比(WSNR)和彩色图像结构相似度法(CISI),分别评价各通道潜像的隐蔽性及信息提取的差异。**结果** 隐藏信息的隐蔽性好,隐藏信息提取再现清晰。**结论** 该防伪方法对于图像加网线数无明显选择性,而通道对于防伪效果有明显影响。K通道中的潜像隐蔽性最差,不适合作为防伪母版。M和C通道中潜像的提取效果最好,是该防伪方法的适用通道。

关键词: 半色调; 光栅防伪; 图像评价

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)05-0117-05

Evaluation of Latent Image Anti-counterfeiting Effect Based on Sub-channel Phase Adjustment

WANG Tian-ma, WANG Qi, LIU Hong-hao

(Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

ABSTRACT: The aim of this study was to realize image anti-counterfeiting grating by phase adjustment latent image technology using the halftone image screening principle as the theoretical basis. Firstly, original artwork and latent image were designed, screening parameters were set up for digital screening, latent image was embedded respectively in C,M,Y,K channels as security master. Secondly, digital grating with corresponding period was designed according to the difference of screen ruling, and then combined with security master to finish the extraction of security information. Finally, the latent image concealment and information extraction effect of each channel were evaluated using the weighted signal to noise ratio (WSNR) and color image structure similarity method (CISI). The concealment of the hidden information was good and the extraction and reproduction of the hidden information was clear. This method had no obvious selectivity towards screen ruling of the image, while sub-channel had a significant impact on the anti-counterfeit effect. K channel had the worst latent concealment, and was not suitable as a security master. Channels M and C had the best latent extraction effect, and were suitable channels of the anti-counterfeiting method.

KEY WORDS: halftone; grating anti-counterfeiting; image evaluation

随着全新的信息安全及版权保护研究的不断深入,基于透射光栅光学特性的光栅防伪技术,因其具有检测手段直接、防伪性能高、抗攻击性强,及不增加额外成本等优势受到了高度重视。基于数字加网技

术在光栅防伪中的应用,网点特征参数的变化会对潜像的隐藏和提取效果产生较大影响,从而影响防伪效果。对于彩色印刷品,选择不同的防伪母版会有不同的防伪效果。目前光栅防伪技术的研究成果主要集

收稿日期: 2014-09-24

作者简介: 王天马(1990—),女,江苏江阴人,南京林业大学硕士生,主攻印刷与包装防伪技术。

通讯作者: 王琪(1971—),女,河南上蔡人,博士,南京林业大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为色彩管理与控制技术、印刷防伪技术等。

中在防伪母版潜像的嵌入及清晰提取的实现层面,但质量评价仅限于主观^[5-6],并不能从客观上验证防伪母版的选择对防伪性能的影响。针对光栅识别隐形图文技术存在的问题,文中通过相位调制潜像法建立防伪模型,在数字加网过程中设定网点参数特征为40%的网点面积率的圆形网点^[7],以不同加网角度和加网线数为变量,探讨各通道作为防伪母版的信息隐藏及提取效果,并分别用CISI算法^[8]和加权信噪比(WSNR)算法,对C、M、Y、K各通道作为防伪母版的防伪性能进行客观的评价。

1 相位调制潜像法防伪理论

1.1 相位调制潜像法思想

相位调制潜像防伪技术借助外在工具检测隐藏信息,又称为二线防伪。在完全不影响印品质量的前提下,应用印前设计软件制作成一种平面载体,在提取隐藏信息时覆盖上透射光栅,从而实现防伪效果。相位调制潜像防伪技术,不受印刷工艺的限制,可以通过胶印、凹印或丝网印刷的方式来实现,生产方式灵活,相比于其他“隐形”印刷防伪技术,不需要增加印刷色数和特定的印刷材料,无需配合其他工艺,因此该技术具有零成本、抗扫描、难复制、加密性极高等优点^[8]。在进行图像输出时,网点作为半色调图像的最小构成单元,表现出连续调图像颜色及层次变化。利用人眼视觉分辨率有限这一视觉特性,在视觉感知不到的范围,对one-bit tiff图像的部分网点进行微小移动,从而在图像指定区域嵌入不可见的防伪隐藏信息。

1.2 分通道防伪方法的实现

分通道光栅防伪方法的实现过程主要包括隐藏信息的嵌入和提取。数字加网技术的目的是将分色后的C、M、Y、K四色通道连续调原稿转换成网目调图像,在加网过程中分别选取四色通道作为防伪母版,在各母版中对部分网点进行防伪信息处理。在隐藏信息嵌入阶段,由于半色调图像的网点具有一定的均匀度,可以将其看作是一个周期性变化的图案,将作为防伪母版通道上的潜像部分网点进行微量移动,最后与其他3个通道叠合得到防伪处理后的图像。在隐藏信息提取阶段,设计周期与加网线数相同的数字光栅与潜像叠合,用数字光栅模拟透射光栅,光栅线条

与潜像网点有可能形成莫尔条纹,如果数字光栅的线条与网点形成直线的方向一致,就没有莫尔条纹产生,被移动的网点就会显示出来。由于防伪母版上的潜像网点排列方向与正常网点的排列方向不同,当周期相同的数字光栅片与做防伪处理的数字图像叠合并转至特定角度,通过纹理对比效应,可以提取出防伪母版上的隐藏信息。

2 评价算法

信息隐藏质量评价一般分为主观评价和客观评价。主观评价组织观测者对图像质量进行评定,充分考虑了人眼对图像的理解效果,但受到观测者文化背景、情感动机和观测环境等因素的影响,结果具有不稳定性。客观评价是通过算法将人眼的感知误差量化表达为数值。建立光栅防伪效果的评价基准包括很多方面,其中最基本的是信息隐蔽性和提取效果,但是这2个指标互相冲突,不可能同时达到最好,因此文中改进客观评价的算法模型,分别对潜像隐蔽性和隐藏信息提取效果做出评价。

2.1 潜像隐蔽性评价

峰值信噪比(PSNR)是图像质量评价常用的客观评价方法,逐点计算图像数据处理前后的变化情况,其定量评价为:PSNR值越大,经处理后的图像与原始图像之间的差异就越小,逼真度越高。目前许多研究者将其作为信息隐藏性能非常重要的客观评价方法。在光栅防伪技术中,经过隐藏信息嵌入前后图像的变化并不是简单的信号与噪声的关系,还涉及人眼视觉特性反应图像的视觉感知质量等问题,因而PSNR并不适合用来评价光栅防伪技术中潜像的隐蔽性。

数字加网后图像由不同方向和空间频率的方形波光栅组成。由于人眼视觉具有低通滤波性,所以人眼能够模糊图像产生中间阶调,使半色调图像,在视觉上与连续图像相似。潜像隐蔽性评价采用加权信噪比(WSNR)算法,将连续图像与其半色调图像在空间域分别与对比度敏感函数(CSF)相卷积(频率域相乘)^[9],这考虑了人眼视觉特性,比PSNR指标与主观评价更趋于一致,以此评价设置潜像后图像的质量。具体模型见图1。

WSNR指标一定程度上考虑了人眼的视觉特性,因此用WSNR来衡量相位调制潜像法防伪法隐藏信

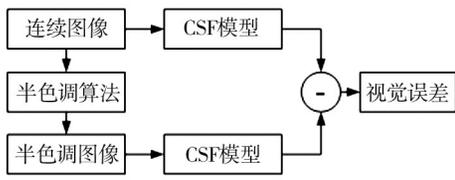


图1 潜像隐蔽性评价算法模型

Fig.1 Latent image concealment evaluation algorithm model

息引入后的失真度, WSNR的表达式为:

$$WSNR=10 \lg \frac{\sum_{u,v} |F(u,v) \cdot CSF(u,v)|^2}{\sum_{u,v} |(F(u,v) - G(u,v)) GSF(u,v)|^2} \quad (1)$$

式中: $F(u,v)$, $G(u,v)$ 分别为经过离散傅里叶变换(DFT)后的原始图像和潜像设置后的图像。由式(1)可知, WSNR值越大, 潜像设置后的图像越接近于原始图像, 即隐蔽性越好。

2.2 隐藏信息提取效果评价

图像质量评价一直是图像处理领域的研究热点, 经典模型有基于人类视觉系统(HVS)的图像质量评价模型、基于结构相似度(SSIM)的评价模型等。ZHAO Xiuzhi等人^[10]认为基于HVS的图像质量评价算法的核心思想是逐个像素对应比较, 然而人眼视觉系统对相邻像素间的影响关系要比单个像素值更加敏感, 图像像素之间的相互影响对图像评价存在不容忽视的作用。SSIM及其拓展算法主要是对灰度图像, 或在假设彩色图像的色度与亮度通道的视觉感知互不影响的前提下设计的。基于此对SSIM算法进行改进, 考虑视觉空间关联性, 以及亮度、彩度和色相在视觉中的相互影响, 提出了CISI算法, 该方法可以很好地评价彩色图像, 并与主观评价达到一致。计算公式为:

$$CISI(x,y)=(M-SSIM(x,y)_L)^{w_1} \cdot (M-SSIM(x,y)_C)^{w_2} \cdot (M-SSIM(x,y)_H)^{w_3} \quad (2)$$

$$M-SSIM(x,y)_L = \prod_{j=1}^n (C_L^j S_L^j L_L^j)^{\alpha_j} \quad (3)$$

$$M-SSIM(x,y)_C = \prod_{j=1}^n (C_C^j S_C^j L_C^j)^{\alpha_j} \quad (4)$$

$$M-SSIM(x,y)_H = \prod_{j=1}^n (C_H^j S_H^j L_H^j)^{\alpha_j} \quad (5)$$

式中: C_L , C_C 和 C_H 分别为2幅图像中亮度、彩度、色相等3个方面对比度的比较值; S_L , S_C 和 S_H 分别为2幅图

像中亮度、彩度、色相等3个方面纹理结构的比较值; L_L , L_C 和 L_H 分别为2幅图像中亮度、彩度、色相等3个方面亮度的比较值, 计算公式分别是式(6)—(8); n 为M-SSIM算法^[12]尺度数, $n=3$; α_j 为来源于M-SSIM算法各尺度的权重, 满足 $\sum \alpha_j = 1$; w_1 , w_2 和 w_3 为权重系数, 分别由视觉对亮度维信息、色相维信息及色相维信息的敏感性决定, 由大量实验可得 $w_1=1$, $w_2=w_3=0.45$ 。

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (6)$$

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (7)$$

$$s(x,y) = \frac{2\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (8)$$

3 过程

实验内容主要是实现对加网后的数字图像, 按C, M, Y, K通道分别作为防伪母版进行潜像信息隐藏, 并用客观方法比较C, M, Y, K通道用来做防伪母版的隐蔽性和防伪效果。实验步骤如下所述。

1) 设计原图。新建4幅颜色模式为CMYK、大小为5 cm × 5 cm的中性灰图像, 各通道网点密度都设为40%。

2) 加网。对这些数字图像的各个CMYK颜色通道分别进行加网处理, 输出分辨率为1440 dpi, 防伪母版的加网角度设置为 0° , 其余加网角度为 15° , 45° , 75° , 网点形状为圆形网点, 加网线数分别选择72, 96, 144 lpi。

3) 潜像嵌入。在Photoshop CS5中实现隐藏信息的嵌入, 由加网线数易得相邻网点之间的中心距 d , 将已知的加网角度 α 代入位移方程(9), 得到网点纵横向的位移量, 根据半色调图像的分辨率, 将位移量换算到像素水平, 从而进行潜像(大写英文字母“F”)的设置。

$$\begin{cases} x = \frac{d}{2} \cos(90^\circ - \alpha) \\ y = \frac{d}{2} \sin(90^\circ - \alpha) \end{cases} \quad (9)$$

4) 制作数字光栅。在Photoshop CS5中设计制作检测防伪信息用的数字光栅。由王晓博等人的研究可知, 数字光栅的周期 t 与背景图像加网线数必须满足关系式(10)。

$$t = \frac{25.4}{L} \quad (10)$$

5) 提取隐藏信息。将数字光栅覆盖在步骤(3)中得到的图像上,数字光栅相当于在Photoshop中模拟光栅光学折射特性做出的1个图层,旋转覆盖在图像上的数字光栅图层,角度发生变化时,看到显示出不同的效果,当数字光栅与图像成特定的角度时,才能再现隐藏潜像“F”。

4 结果分析与评价

4.1 主观评价

加网线数为144 lpi时,分别选C, M, Y, K通道做防伪母版设置潜像后的数字加网图像,见图2。可以直观地看出,在各通道中设置潜像后,Y通道图像几乎没有受影响,K通道可以明显看到潜像的存在,破坏了图像的均匀性,因此K通道不适合做防伪母版。

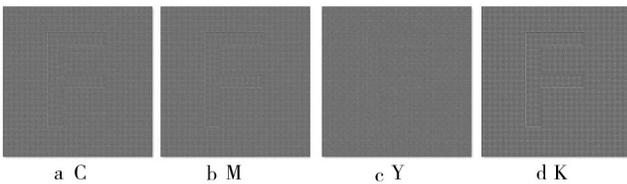


图2 潜像设置后的数字加网图像

Fig.2 Digital screening images after latent setting

加网线数为72, 96, 144 dpi时,C, M, Y通道分别做防伪母版提取到的隐藏信息效果分别见图3。由图

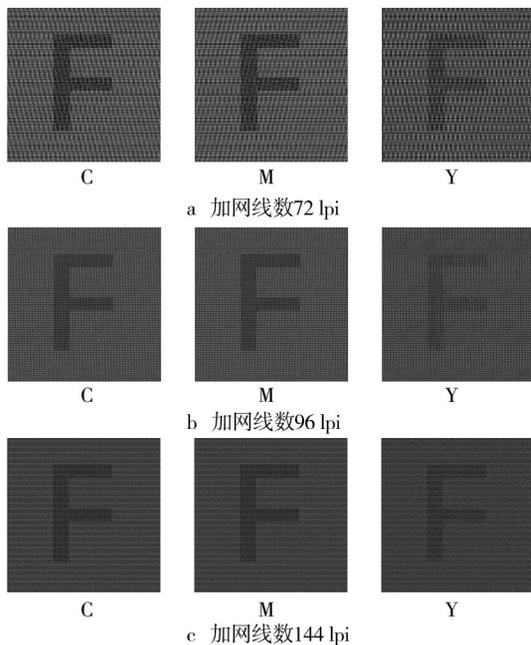


图3 不同加网线数的提取效果

Fig.3 Extraction result of image with different screen ruling

3可知,在不同加网线数下,都能提取清晰的隐藏信息,说明该防伪方法与图像加网线数无明显相关性。同时,C, M通道作为防伪母版提取到的隐藏信息“F”较Y通道更加清晰,反差也大。

4.2 客观评价

1) 潜像隐蔽性评价。在做防伪母版隐蔽性评价中,WSNR值越大说明其隐蔽性越好,评价结果见表1。由表1可知,K通道在不同线数下的WSNR值都在6.26左右,相对于C, M, Y通道的WSNR值,与原图有较大差异,K通道作为防伪母版隐蔽性较差,不适合用于设置潜像,所以防伪母版需在C, M, Y通道中选择。

表1 相位调制潜像前后WSNR值

Tab.1 WSNR values before and after phase adjustment of latent image

| 加网线数/lpi | 防伪母版 | | | |
|----------|---------|---------|---------|--------|
| | C | M | Y | K |
| 72 | 15.5478 | 15.5612 | 13.6712 | 6.2467 |
| 96 | 15.6342 | 15.7573 | 13.6898 | 6.2678 |
| 144 | 15.8712 | 15.9182 | 13.7123 | 6.2783 |

2) 隐藏信息提取效果评价。基于上述CISI评价方法,若CISI值越接近1,则与原图结构就越相似,反之与原图有较大差异。在提取隐藏信息的图像质量评价中,CISI值越小说明提取的隐藏信息越清晰,防伪效果越好。根据表2光栅正确覆盖后提取隐藏信息后的CISI值,M和C通道加入防伪信息前后计算所得的各个参数数据评价结果都非常接近,而Y通道的CISI值明显偏大,即提取到的隐藏信息没有C通道和M通道作为防伪母版提取到的清晰。由此,C通道和M通道是该防伪方法的最适用通道。

表2 防伪隐藏信息提取前后CISI值

Tab.2 CISI values before and after extraction of anti-counterfeiting hidden information

| 加网线数/lpi | 防伪母版 | | |
|----------|--------|--------|--------|
| | C | M | Y |
| 72 | 0.0415 | 0.0402 | 0.0632 |
| 96 | 0.0393 | 0.0382 | 0.0479 |
| 144 | 0.0184 | 0.0179 | 0.0277 |

5 结语

通过相位调制潜像法,对半色调图像分别选用C,

M, Y, K通道作为防伪母版嵌入隐藏信息,并与相应周期的数字光栅进行正确叠合,从而完成防伪信息的检测。经过大量实验及客观方法评价表明,加入防伪信息前后C, M, Y通道做防伪母版的半色调图像没有明显变化,但K版信息隐蔽性很差。检测时防伪信息图案C通道和M通道做防伪母版的隐藏信息再现清晰,达到了较好的防伪效果, Y通道效果略差。所以在实际运用中,可以在C, M 2个通道中任意选择1个或2个通道加入防伪信息。文中采用的相位调制潜像法及客观评价方法,为防伪技术中防伪母版的选择提供了理论依据,保证了防伪信息的隐蔽性及检测效果。

参考文献:

- [1] BALOUKAS B, LAMARRE J M, MARTINU L. Active Metameric Security Device Using an Electrochromic Material[J]. *Application Optic*, 2011, 50(9):41—49.
- [2] MALESHLIYSKI S, GUNTER R, BONEV S. Method for the Extraction of Print-process Error Signals from Matrix Codes and Its Application in Security Printing[C]// *Proc IADIS International Conference*, 2010:155—160.
- [3] RUSSO F, DE ANGELIS A, CARBONE P. A Vector Approach to Quality Assessment of Color Images[C]// *Proceedings of the 2008 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. Piscataway: IEEE, 2008:814—818.
- [4] CHANDLER D M, HEMAMI S S. A Wavelet-based Visual Signal-to-noise Ratio for Natural Images[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2007, 16(9):2284—2298.
- [5] 赵小梅,谢兵. 基于莫尔效应的半色调图像处理防伪方法[J]. *天津科技大学学报*, 2012, 27(2):66—69.
ZHAO Xiao-mei, XIE Bing. Moiré Effect Based Halftone Image Processing Method of Security[J]. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*, 2012, 27(2):66—69.
- [6] 石潇文,赵秀萍. 莫尔效应在防伪印刷中的应用研究[J]. *包装工程*, 2010, 31(23):99—101.
SHI Xiao-wen, ZHAO Xiu-ping. Research on Application of Moiré Effect in Security Printing[J]. *Packaging Engineering*, 2010, 31(23):99—101.
- [7] 王晓博,王琪,刘萧豪. 基于周期无穷大纵向莫尔条纹的半色调防伪技术研究[J]. *包装工程*, 2014, 35(1):130—135.
WANG Xiao-bo, WANG Qi, LIU Xiao-hao. Research of Halftone Anti-counterfeiting Technology Based on the Infinite Periodic Vertical Moiré [J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(1):130—135.
- [8] 唐柱斌,肖志坚. 光栅隐形潜像防伪技术研究[J]. *包装工程*, 2014, 35(9):117—121.
TANG Zhu-bin, XIAO Zhi-jian. Grating Anti-counterfeit Technology for High-end Printing[J]. *Packaging Engineering*, 2014, 35(9):117—121.
- [9] 王琪,周小凡. 基于网点结构形态的图像信息印刷复制研究[D]. 南京:南京林业大学, 2013.
WANG Qi, ZHOU Xiao-fan. Image Information Printing Reproduction Research of Dot Structure[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2013.
- [10] 赵秀芝,谢德红,潘康俊. 彩色视觉相似性图像评价方法[J]. *计算机应用*, 2013, 33(6):1715—1718.
ZHAO Xiu-zhi, XIE De-hong, PAN Kang-jun. Color Image Quality Assessment Algorithm Based on Color Structural Similarity[J]. *Journal of Computer Applications*, 2013, 33(6):1715—1718.
- [11] 刘真,任乐义. 基于加网复制的光栅防伪技术研究[J]. *中国印刷与包装研究*, 2010, 2(S1):153—156.
LIU Zhen, REN Le-yi. Study of Anti-counterfeit Printing with Cylindrical Lens Sheet Basic on Screening Copy[J]. *China Printing Packaging Study*, 2010, 2(S1):153—156.
- [12] 段风云,刘聪,张俊利. 黑白光栅成像的数字模型机实验验证[J]. *实验室研究与探索*, 2005, 24(5):29—31.
DUAN Feng-yun, LIU Cong, ZHANG Jun-li. Mathematical Description and Experimental Verification about Black-white Grating[J]. *Research and Exploration in Laboratory*, 2005, 24(5):29—31.
- [13] 佟雨兵,张其善,祁云平. 基于PSNR与SSIM联合的图像质量评价模型[J]. *中国图象图形学报*, 2006, 11(12):1758—1762.
TONG Yu-bing, ZHANG Qi-shan, QI Yun-ping. Image Quality Assessing by Combining PSNR with SSIM[J]. *Journal Image and Graphics*, 2006, 11(12):1758—1762.
- [14] 姚莉. 数字半色调技术及其评价方法研究[J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(3):4—8.
YAO Li. Review on Digital Halftoning and Quality Assessment Schemes[J]. *Computer Engineering and Application*, 2010, 46(3):4—8.
- [15] ENRICK B, DENIS G, BERNARD K. High Security Optical Tags for Automotive/Avionics Parts Anti-counterfeiting[J]. *Proc of SPIE*, 2011, 7675:750—762.
- [16] SHENG L Y. Using Random Features of Dot-matrix Holograms for Anticounterfeiting[J]. *Application Optic*, 2006, 45(16):3698—3703.
- [17] ZHUGE X, NAKANO K. Halftoning Based Algorithms for Image Hiding[J]. *Journal of Communication and Computer*, 2009, 6(9):39—45.